

BLOQUES DE HORMIGÓN ELABORADOS CON ÁRIDOS RECICLADOS MIXTOS

Iniciativa del sector de la prefabricación hacia la economía circular

María Martín Morales

Departamento de Construcciones Arquitectónicas. Universidad de Granada. Campus de Fuentenueva s/n 18071, Granada, Spain



1. INTRODUCCIÓN

La propuesta de Directiva de la Comisión Europea relativa a la estrategia hacia una economía circular establecerá para el 2030 una serie de ambiciosos objetivos de preparación para la reutilización, reciclado y eliminación, dirigidos al cambio de paradigma que supone el abandono de la clásica economía lineal por el tránsito hacia una nueva economía cuircular, con el propósito de tratar de convertir en una reliquia del pasado el concepto de residuo. En este sentido, el sector industrial de la construcción de edificios e infraestructuras debe realizar un notable esfuerzo para unirse a esta tendencia. Los últimos datos estadísticos oficiales publicados por la Unión Europea de los 28 a través de Eurostat (Eurostat, 2014) indican que la actividad constructora ha generado el 34.32% de los 2506 millones de toneladas de residuos, lo que supone un grave problema de gestión para sus gobiernos. Los residuos de construcción y demolición (RCD) proceden fundamentalmente de la demolición de edificios e infraestructuras y contienen principalmente hormigón, mortero y material cerámico, por lo que son considerados como inertes según la Decisión del Consejo 2003/33/CE (Decisión del Consejo, 2002), pudiéndose utilizar como áridos reciclados, una vez tratados adecuadamente en plantas de tratamiento, ayudando consecuentemente a preservar el medioambiente (Matar & El Dalati, 2011).

Hay documentados numerosos estudios sobre el uso de árido reciclado (AR) tanto en la elaboración de hormigón estructural (Silva et al., 2016), como no estructural (Mas et al., 2012), en morteros (Cuenca-Moyano et al., 2014) y en obras de carreteras (Barbudo et al., 2012); afir-

mándose en todos ellos que la calidad del AR es inferior a la del natural (AN), siendo fundamentalmente su mayor absorción, el mortero adherido y el contenido en impurezas lo que limita su uso. No obstante, a excepción de la fracción fina de los AR, donde estos inconvenientes se manifiestan más profundamente, la actual normativa técnica en la materia permite su uso (EHE-08, 2008).

Sin embargo, no se han encontrado apenas usos del AR en aplicaciones de baja exigencia como prefabricados de hormigón no estructural, donde no existen restricciones o al menos no son tan limitantes. La mayoría de los estudios tienen por objetivo final la elaboración de piezas macizas: bloques (Leiva et al., 2013; Xiao et al., 2011; Xiao et al., 2013), adoquines (Jankovic et al., 2012; Soutsos et al., 2011) o losetas (Jankovic et al., 2012; Soutsos et al., 2012). Sólo unos pocos autores han estudiado el comportamiento del AR en la elaboración de piezas prefabricadas de sección hueca, obteniendo unos resultados poco favorables (Domínguez et al., 2004; Rodríguez et al., 2016; Matar & El Dalati, 2011), demandando altas cantidades de cemento (Matar & El Dalati, 2011) los hace económicamente inviables.

Por tanto, el objetivo de este estudio es la producción de bloques de hormigón elaborados con árido reciclado mixto (ARM) que cumplan con los requisitos de la norma europea EN 771-3 (Especificaciones de piezas para albañilería. Parte 3: Bloques de hormigón (Áridos densos y ligeros)) (EN 771-3, 2011), y adicionalmente que sean capaces de manifestar una adecuada durabilidad frente a ciertas condiciones ambienta-

les como el hielo-deshielo y la cristalización de sales. Teniendo en cuenta que los AR se pueden considerar como materia prima secundaria en la economía circular, su uso en la fabricación de productos de bajo requerimiento garantiza el cumplimiento de los objetivos establecidos en la Directiva 2008/98/CE (Parlamento Europeo, 2008) que establece que el 70% de los RCD generados sean reutilizados, reciclados y valorizados para el 2020.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

En la elaboración de los bloques de hormigón fabricados, conforme a las recomendaciones del fabricante, se han empleado los siguientes materiales:

- Cemento Portland CEM I 42.5 R conforme a la norma Europea EN 197-1 (EN 197-1, 2011), utilizado habitualmente en la elaboración de prefabricados de hormigón.
- Aditivo superplastificante y reductor de agua de amasado FRIOPLAST P de la casa comercial SIKA, formulado especialmente para alcanzar una adecuada compactación y desmoldeo de hormigones secos extrusionados.
- árido dolomítico natural (AN) procedente de una cantera de Padul (Granada-España).
- árido reciclado (AR) de una planta de tratamiento de RCD en Granada (España). El AR se designó como árido reciclado mixto (ARM) de acuerdo a la norma Europea EN 933-11 (EN 933-11, 2011) debido a su presencia en material cerámico.

“

“...la actividad constructora ha generado el 34.32% de los 2506 millones de toneladas de residuos, lo que supone un grave problema de gestión para sus gobiernos. ”

►

REQUERIMIENTO	ÁRIDO		LÍMITE		
	AN	ARM	EHE-08 Artículo 28	EHE-08 Anejo 15	UNE EN 12620
Densidad de partículas secas (kg/dm3)	2.675	2.498	-	-	>2.000
Densidad de partículas saturadas con la superficie seca (kg/dm3)	2.679	2.658	-	-	-
Absorción (%)	0.141	6.430	< 5.00	< 7.00	-
Sulfatos solubles en agua (%)	0.00	0.90	-	-	-
Sulfatos solubles en ácido (%)	0.00	0.84	< 0.80	-	-
Sulfatos totales (%)	0.00	1.08	< 1.00	-	-
Cloruros solubles en agua (%)	0.00	0.021	< 0.05* <0.03**	-	-
Cloruros solubles en ácido (%)	0.00	0.014	-	-	-
Partículas blandas (%)	0.00	0.00	-	-	< 1.00
* Para hormigón armado y en masa					
** Para hormigón pretensado					

Tabla 1. Especificaciones de los áridos de acuerdo a la Instrucción EHE-08 y la norma EN 12620.

Los áridos empleados presentaron una distribución granulométrica continua y cumplieron los requisitos establecidos en la Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08 (EHE-08, 2008), salvo el ARM que presentaba un contenido en sulfatos ligeramente superior al establecido (ver Tabla 1)2.2.

MÉTODOS

2.2.1. Dosificación

Se elaboraron 6 bandejas de 7,5 piezas de 400x200x200 mm de cada espécimen según la dosificación establecida por el fabricante: 7,5% de cemento, relación agua cemento 0,61 y 0,5% de aditivo. Considerando que el ARM es considerablemente más absorbente que el AN y con el objeto de limitar su absorción y la consecuente demanda de agua del hormigón reciclado, se premojó durante 10 minutos con el 80% del agua correspondiente a su absorción antes de su incorporación a la amasadora. Este requerimiento no interfiere en el proceso industrial de mezclado de los componentes del hormigón en el que se siguió el siguiente orden de vertido: (i) árido reciclado, (ii) premojado y mezclado durante 10 minutos, (iii) árido natural (en su caso), (iv) cemento, (v) agua de amasado, y (vi) aditivo. Los bloques de hormigón se fabricaron mediante un equipo modular vibro-compactador POYATOS de moldes intercambiables de 3000 r.p.m. durante el llenado y 4000 r.p.m. durante la presión, y fueron desmoldados inmediatamente y curados en cámara húmeda mediante el propio vapor de agua que desprendían durante

las primeras horas.

2.2.2. Procedimientos de laboratorio

De cada serie de bloques fabricada se escogieron 6 piezas al azar para cada uno de los de ensayos especificados en la norma Europea EN 771-3 (UNE EN 771-3, 2011) así como para determinar su comportamiento frente a la absorción total y a la durabilidad a través de la resistencia al hielo-deshielo y al envejecimiento en cámara salina. En la Tabla 2 se recoge dichos requerimientos y la normativa de ensayo empleada en cada caso.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN


La Tabla 2 recoge los resultados de laboratorio de las especificaciones geométricas, físicas, mecánicas y de durabilidad ensayadas en los bloques de hormigón así como el valor declarado por el fabricante.

3.1. Requisitos geométricos y físicos

Salvo por el color de los bloques de hormigón reciclados que tiende a tonalidades marrones debido a la presencia de material cerámico (ver Figura 1), no se han observado diferencias tanto en la homogeneidad y uniformidad en las piezas ensayadas como en lo referente a su configuración y aspecto, comparadas con los bloques patrón, por lo que la incorporación de ARM no compromete la apariencia y configuración de los prefabricados no estructurales.

En relación a su densidad, tal y como era previsible, con respecto a los bloques patrón

cenizas procedentes de biomasa, hormigones elaborados con cenizas procedentes de biomasa, mejora técnica y sostenibilidad de productos cerámicos con la incorporación de biomasas residuales, mejora técnica y sostenibilidad de morteros de cemento con la incorporación de biomasas residuales, mejora de la sostenibilidad de envolventes verdes de edificios, eficiencia energética en edificación, geopolimerización y activación alcalina. La Profesora Martín Morales tiene 14 publicaciones en revistas indexadas y ha participado en más de 40 congresos científicos nacionales e internacionales. Así mismo, es revisora de varias revistas científicas del primer y segundo cuartil del Journal Citation Reports. La Profesora Martín Morales ha dirigido una tesis doctoral y numerosos trabajos fin de grado y fin de máster. Actualmente es Directora del Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la Universidad de Granada.



María Martín Morales
Arquitecta Técnica, Licenciada en Geografía y Doctora por la Universidad de Granada.

Desarrollando su carrera profesional como Profesora Contratada Doctora en la Universidad de Granada e impartiendo su docencia en las asignaturas de materiales de construcción del Grado de Edificación, así como en el Máster Universitario en Gestión y Seguridad Integral en Edificación. La Profesora Martín Morales desarrolla su carrera investigadora en colaboración con investigadores de las Universidades de Granada, Jaén, Córdoba y del Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción del CSIC, en materia de: residuos de construcción y demolición, reciclaje y reutilización de materiales de construcción, morteros elaborados con árido reciclado, prefabricados no estructurales elaborados con árido reciclado, morteros elaborados con sustitución de

REQUISITO		NORMA	VALOR DECLARADO	50M+50N	100M	100 N
Densidad (kg/dm3) EN 772-13		1.900	1.891	1.816	2.175	
Peso (gr) -		-	14296.6	13400.2	15712.0	
Pérdida de peso (%)		-	-	9.01	14.71	-
Absorción por capilaridad (gr/m2.s)		EN 772-11	10.40	10.25	8.41	6.72
Absorción por inmersión total (%)		-	n.d.	7.65	11.81	4.64
Resistencia a compresión (N/mm2)		EN 772-1	13.400	17.281	14.007	24.423
Categoría		R10	R10	R10	R20	
Clase de resistencia al fuego*		EN 13501-1+A1	A1	A1	A1	A1
Hielo-deshielo	Resistencia a compresión (N/mm2)	EN 13198, 2004 anexo A	n.d.	13.861	11.717	24.237
	Pérdida de resistencia (%)		n.d.	19.79	16.35	0.76
	Pérdida de peso (%)		n.d.	3.41	6.29	2.68
Resistencia al envejecimiento	Res. a compresión (N/mm2)	EN 14147	n.d.	13.965	10.027	21.070
	Pérdida de resistencia (%)		-	19.19	28.41	13.73
	Pérdida de peso (%)		-	2.62	2.71	1.10

*La Resistencia la fuego de los bloques estudiados se puede considerar como clase A1 ya que está establecido por la norma que los productos prefabricados en base cemento fabricados con menos del 1% de material orgánico pueden ser declarados como clase A1 sin necesidad de hacer el ensayo.

Tabla 2. Especificaciones y resultados de los bloques de hormigón de acuerdo con la norma EN 771-3 y el CTE DB SE-F

se ha observado una pérdida del 13.06% en las piezas elaboradas con sustitución parcial de AN por ARM y del 16.51% en las piezas elaboradas con sustitución total. Estas pérdidas resultan similares a las obtenidas en los trabajos llevados a cabo por otros autores (Jankovick et al., 2012; Leiva et al., 2013), atribuyéndose fundamentalmente a la menor densidad del árido reciclado y a su marcada heterogeneidad. No obstante, esta bajada en la densidad representa un menor peso en las pesadas piezas, lo que supone una considerable ventaja en cuanto al transporte, manejo y puesta en obra de las mismas.

La incorporación de ARM ha afectado considerablemente a la absorción de agua por capilaridad en los bloques de hormigón recicla-

do. Contrariamente a lo esperado, los valores medios obtenidos han sido superiores en los bloques sustituidos parcialmente [52.53%] que en los elaborados completamente con el árido reciclado (25.15%), lo que indica una relativa incompatibilidad entre los áridos naturales y los reciclados para esta prescripción. Aunque no existe limitación alguna sobre este parámetro en la normativa, se consideran como un requisito fundamental ya que indirectamente se recomienda humedecer las piezas de albañilería con el objeto de no modificar la consistencia del mortero tanto por la absorción del agua de amasado como por la aportación de la misma por exceso de mojado de la pieza (CTE, 2006). Por su parte, la absorción de agua de los

bloques de hormigón reciclado por inmersión total ha resultado de 1.6 a 2.5 veces superior que la de los bloques patrón, mostrando el peor comportamiento las piezas sustituidas totalmente. Estos valores se encuentran en consonancia con los obtenidos en otros estudios tanto por la presencia de materiales cerámico en el árido reciclado (Xiao et al., 2011; Xiao et al., 2013) como por el propio árido reciclado que es considerablemente más absorbente (Soutsos et al., 2011; Soutsos et al., 2012).

3.2. Requisitos mecánicos

Desde el punto de vista del comportamiento mecánico de los bloques reciclados, y aunque se ha observado un descenso del 29.24%

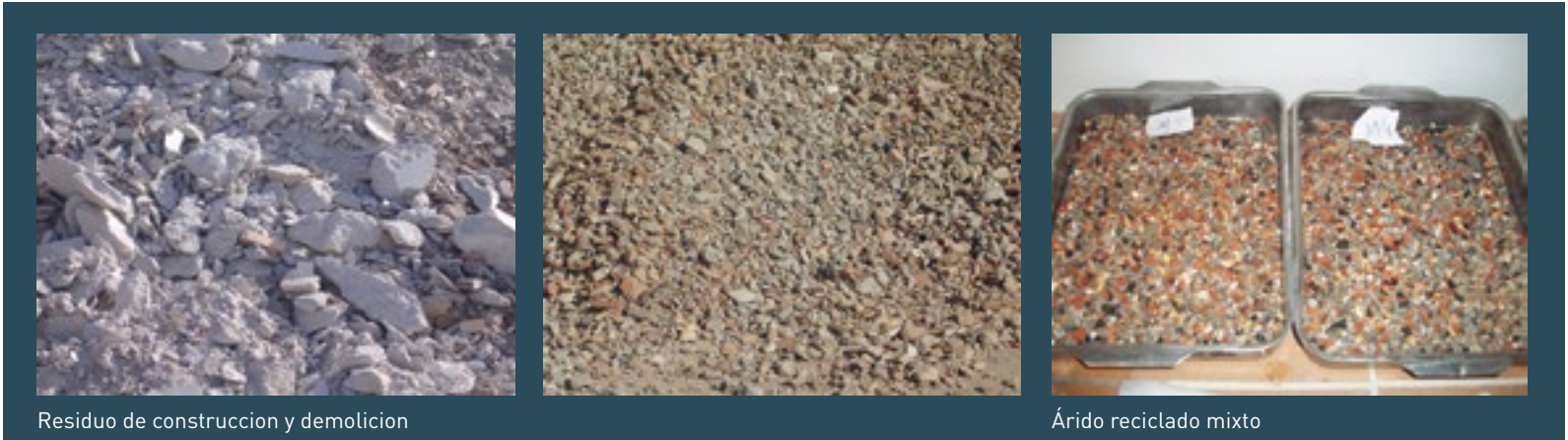




Figura 1. Bloques de hormigón reciclado elaborados con (a) ARM y (b) AN



Figura 2. Apariencia del bloque de hormigón reciclado elaborado con ARM tras el ensayo de hielo-deshielo

y 42.65% en los bloques sustituidos parcial y totalmente respectivamente con respecto a los bloques patrón, todas las piezas superaron el valor declarado por el fabricante, además del valor mínimo de 5 N/mm2 establecido en el Documento Básico de Seguridad Estructural en Fachadas del Código Técnico de la Edificación (CTE, 2006). Aunque son pocos los autores que han experimentado con la incorporación de áridos reciclados en piezas prefabricadas no estructurales (Leiva et al., 2013; Matar & El Dalati, 2011; Domínguez et al., 2004), los resultados que han obtenido para este requerimiento han sido similares, pesa a conseguirlo con porcentajes de sustitución de hasta el 50% y cantidades de cemento del 20%, muy por encima del 7.5% empleado en este estudio. Por lo que la técnica de vibrocompactación y, fundamentalmente, la presión de moldeo aplicada han sido los responsables de mejorar el empaquetamiento de los áridos aumentando considerablemente la capacidad resistente del producto resultante (Xiao et al., 2013).

3.3. Durabilidad

Los bloques de hormigón reciclado elaborados con ARM sometidos a 25 ciclos de hielo-deshielo han visto significativamente reducida su resistencia mecánica con respecto a los bloques no sometidos a ensayo, fundamentalmente en los elaborados con sustitución parcial, afianzando el deficiente acoplamiento de áridos reciclados y naturales observado también en lo relativo a la absorción de agua por capilaridad. Pese a ello, las resistencias obtenidas tras en ensayo han mostrado un valor absoluto de más

del doble que los 5 N/mm2 mínimos contemplado en el CTE (CTE, 2006). Estás menores resistencias no presentan correlación con la correspondiente pérdida de peso, visible en las esquinas y aristas de las piezas (ver Figura 2), que

“

“...se ha encontrado una considerable reducción de peso de hasta el 15%, que ofrece enormes ventajas tanto por el ahorro de energía durante su transporte como por la mejora en su manejo y disminución del peso que le confiere a la estructura.”

resultó significativamente mayor en las piezas manufacturadas con un reemplazo del 100%. Es de destacar el excelente comportamiento de los bloques patrón que apenas sufrieron descensos de resistencia tras ser sometidos a este ensayo.

Por otra parte, los bloques sometidos a 60 ciclos de humectación-secado en cámara salina a 35°C, incluidos los elaborados con árido natural como patrón de comparación, han experimentado mayores descensos de resistencia, pero a diferencia del los ensayados anteriormente, fueron los bloques reciclados elaborados con sustitución total del ARM los que mostraron las mayores caídas de resistencia. No obstante, tras el ensayo todos ellos siguen manteniendo la capacidad resistente requerida por el CTE (CTE,

2006). En este caso, esta pérdida de resistencia no se corresponde la pérdida de peso, que como resultó inferior al 3% en todos los casos.

CONCLUSIONES

Como principal objetivo de esta investigación se ha conseguido la producción de bloques prefabricados de hormigón no estructural con la incorporación total de árido reciclado mixto que cumplan con los requisitos de la norma europea EN 771-3 y que adicionalmente sean capaces de manifestar un adecuado comportamiento frente a ciertas condiciones extremas tales hielo-deshielo o cristalización de sales.

A pesar de la variabilidad de las características del árido reciclado e independientemente de su cantidad, se puede establecer la completa viabilidad del árido reciclado mixto, tanto grueso como fino, para estas aplicaciones de bajo requerimiento, donde su incorporación no está limitada ni compromete la funcionalidad de los bloques prefabricados.

Particularmente, los bloques de hormigón reciclado elaborados con sustitución parcial de árido natural por reciclado han mostrado su mejor comportamiento, fundamentalmente en lo relativo a su densidad, absorción de agua por inmersión total y resistencias mecánicas, mientras que los elaborados con sustitución total presentan una menor absorción por capilaridad. Además, se ha encontrado una considerable reducción de peso de hasta el 15%, que ofrece enormes ventajas tanto por el ahorro de energía durante su transporte como por la mejora en su manejo y disminución del peso que le confiere a la estructura.

Finalmente, la técnica de vibrocompactación ha resultado totalmente apropiada para la incorporación de áridos reciclados mixtos procedentes de residuos de construcción y demolición sin una mayor demanda de cemento, permitiendo la incorporación del sector de prefabricados no estructurales en el modelo de economía circular. ■

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo de investigación no hubiese sido posible sin la colaboración de la planta de tratamiento de residuos de construcción y demolición ECOINERTES S.L., la planta de prefabricados FORJADOS TRIUNFO S.A., el grupo de investigación RNM 197: Management and Environmental Technology (Gestión y Tecnología Ambiental) y la Cátedra de Residuos UGR-Diputación de Granada.

Referencias

Eurostat, 2014. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Waste_statistics.

Decisión del Consejo de 19 de diciembre de 2002 por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CEE.

Leiva, C., Solís-Guzmán, J., Marrero, M., García Arenas, C., 2013. Recycled blocks with improved sound and fire insulation containing construction and demolition waste. Waste Manage 33 (3), 663-671. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.06.011>

Matar, P., El Dalati, R., 2011. Strength of masonry blocks made with recycled concrete aggregates. Phys Procedia 21, 180-186. <http://dx.doi.org/10.1016/j.phpro.2011.10.027>

Silva, R. V., de Brito, J., Evangelista, L., Dhir, R. K. 2016. Design of reinforced recycled aggregate concrete elements in conformity with Eurocode 2. Constr Build Mater 105, 144-156. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.080>

Mas, B., Cladera A., del Olmo, T., Pitarch, F., 2012. Influence of the amount of mixed recycled aggregates on the properties of concrete for non-structural use. Constr Build Mater 27, 612-622. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.073>

Cuenca-Moyano, G.M., Martín-Morales, M., Valverde-Palacios, I., Valverde-Espinosa, I., Zamorano, M., 2014. Influence of pre-soaked recycled fine aggregate on the properties of masonry mortar. Constr Build Mater 70, 71-79. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.07.098>

Barbudo, A., Agrela, F., Ayuso, J., Jiménez, J.R., Poon, C.S. 2012. Statistical analysis of recycled aggregates derived from different sources for sub-base applications. Constr Build Mater 28, 129-138. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.07.035>

Ministerio de Fomento. Instrucción de Hormigón Estructural EHE-08. Madrid.

Xiao, Z., Linga, T.C., Kou, S.C., Wang, Q., Poon, C.S, 2011. Use of wastes derived from earthquakes for the production of concrete masonry partition wall blocks. Waste Manage 31 (8), 1859-1866. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.04.010>

Xiao, Z., Linga, T.C., Poon, C.S., Kou, S.C., Wang, Q., Huang, R., 2013. Properties of partition wall blocks prepared with high percentages of recycled clay brick after exposure to

elevated temperatures. Constr Build Mater 49, 56-61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.08.004>

Jankovic, K., Nikolic, D., Bojovic, D., 2012. Concrete paving blocks and flags made with crushed brick as aggregate. Constr Build Mater 28 (1), 659-663. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.10.036>

Soutsos, M.N., Tang, K., Millard, S.G., 2011. Use of recycled demolition aggregate in precast products, phase II: Concrete paving blocks. Constr Build Mater 25 (7), 3131-3143. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.12.024>

Soutsos, M.N., Tang, K., Millard, S.G., 2012. The use of recycled demolition aggregate in precast concrete products – Phase III: Concrete pavement flags. Constr Build Mater 36, 674-680. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.06.045>

Domínguez, J., Villanueva, V., Martínez, E., 2004. Constructive elements applicable to houses of social interest made with recycled aggregate. Revista Ingeniería de Construcción 19, 49-58. <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/DOMINGUEZ>

Rodríguez, C., Parra, C., Casado, G., Miñano, I., Albaladejo, F., Benito, F., Sánchez, I., 2016. The incorporation of construction and demolition wastes as recycled mixed aggregates in non-structural concrete precast pieces. J Clean Prod 127, 152-161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.137>

EN 771-3, 2011. Especificaciones de piezas para fábrica de albañilería. Parte 3: Bloques de hormigón (áridos densos y ligeros). Bruxelles. Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.

EN 197-1, 2011. Cemento. Parte 1: Composición, especificaciones y criterios de conformidad de los cementos comunes. Bruxelles.

EN 933-11, 2009. Ensayos para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 11: Ensayo de clasificación de los componentes de los áridos gruesos reciclados. Bruxelles.

EN 12620, 2016. Áridos para hormigón. Bruxelles.

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Madrid.